هیدروژئومورفولوژی، شماره‌ی ۱۰، بهار ۱۳۹۶، صص ۱۶۴-۱۴۵

وصول مقاله: ۱۳۹۵/۰۹/۲۵ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۶/۰۲/۳۰

ارزیابی تغییرات موررفولوژیک و پایداری رودخانه‌ی قرانقو چای هشترود با استفاده از مدل BEHI

محمدمهدی حسین‌زاده[۱]

سمیه خالقی[*۲]

فراز واحدی‌فر[۳]

چکیده

تـغییر کانال، فرسایش و رسـوب‌گذاری کـناره‌ای رودخانـه‌ها فـرآیندهای طـبیعی رودخانه‌های آبرفتی هستند که باعث تخریب زمین‌های کشاورزی اطراف و خسارت به تأسیسات انسانی اطراف رودخانه می‌شوند. در این پژوهش از روش BEHI (شاخص خطر فرسایش کناره‌ای) جهت ارزیابی رودخانه قرانقو چای از نظر الگو و اندازه‌گیری میزان فرسایش کناره‌ای و ناپایداری کناره‌ها استفاده شده است. برای انجام این کار بازه‌ای از رودخانه انتخاب و ۹ مقطع از این بازه مورد بررسی قرار گرفت. در این مدل از داده‌های مرتبط با پارامترهای ارتفاع کرانه، ارتفاع دبی لبالبی، عمق ریشه، تراکم ریشه، زاویه‌ی کناره، درصد محافظت کناره و ترکیبات و ساختار مواد کناره استفاده شده است. نتایج به دست‌آمده از مدل BEHI نشان می‌دهد که فرسایش کناره‌ای در هر دو کناره راست و چپ مقاطع عرضی وجود دارد به طوری که در کناره سمت راست رودخانه، میزان خطر فرسایش در تمامی مقاطع از متوسط تا خیلی زیاد است و فقط در یکی از مقاطع میزان

---

۱ ـ دانشیار، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهیدبهشتی، تهران

۲ ـ استادیار، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهیدبهشتی، تهران (نویسنده‌ی مسئول[*])

Email:m_hoseinzadeh@bu.ac.ir

۳ ـ دانشجوی کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهیدبهشتی، تهران

خطر فرسایش خیلی کم بوده و همچنین در کناره‌های چپ رودخانه در مقاطع مذکور میزان خطر فرسایش کناره از خیلی کم تا شدید برآورد شده است. علت بالا بودن ضریب خطر فرسایش در کناره سمت راست، پایین بودن میزان تراکم ریشه در ساحل راست و جنس سست مواد نسبت به ساحل چپ می‌توان دانست.

کلمات کلیدی: فرسایش کناره‌ای، تغییرات مجرا، BEHI، رودخانه قرانقو چای

مقدمه

حفاظت سواحل رودها در مقابل فرسایش از اهمیت زیادی برخوردار است، مکانیسم تخریب و شکست دیواره‌ها نه‌تنها بستگی به نوع و شدت فرسایش دارد، بلکه به ویژگی‌های دیواره نظیر شکل سازه و ویژگی‌های مکانیکی مواد تشکیل‌دهنده‌ی آن‌ها نیز وابسته است. از طرفی می‌توان فرسایش را با شناسایی نقاط حساس رودخانه و همچنین با استفاده از روش‌های مکانیکی و بیولوژیکی کاهش داد. تخمین و ارزیابی فرسایش کناره‌ای با استفاده از عکس‌های هوایی، نمونه‌برداری از رسوبات بستر رودخانه‌ها و انجام کارهای آزمایشگاهی و قرار دادن داده‌ها در مدل‌های ارزیابی فرسایش کناره‌ای می‌توان تصویر روشنی از عملکرد رود و فرسایش کناره‌ای به دست آورد (فاطمی عقدا و همکاران، ۱۳۸۰: ۱۶۳). فرسایش کناره‌ی رود یکی از علل عمده آلودگی غیرنقطه‌ای منابع آب و افزایش بار رسوب در بسیاری از رودخانه‌ها است (رزگن[1]، ۲۰۰۱؛ ویلسون و همکاران[2]، ۲۰۰۸). افزایش فرسایش کناره‌ای نه‌تنها موجب افزایش بار رسوب می‌شود بلکه موجب ناپایداری رودخانه و تغییر نوع جریان و الگوی کانال هم می‌شود. از این رو طی چند دهه‌ی اخیر بار رسوب و ناپایداری کناره‌ای رود، نگرانی‌های عمده‌ای را در سطح جهان ایجاد نموده

1- Rosgen
2 - Wilson et al.,

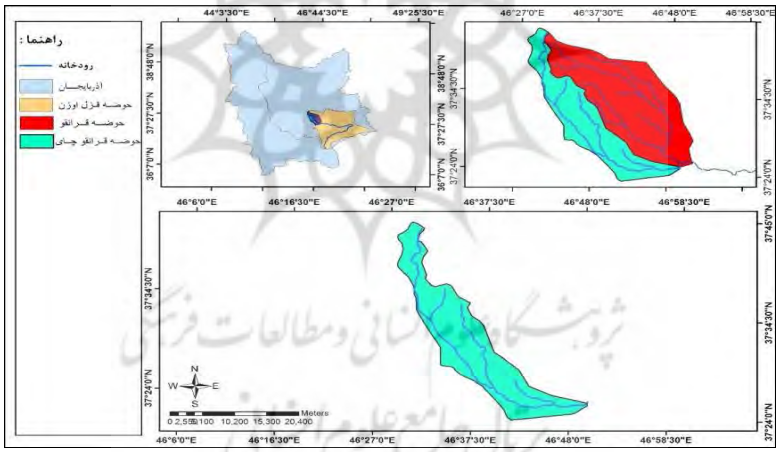
و مبالغ زیادی برای پایداری کناره‌های رود صرف شده است (برنارد و همکاران[1]، ۲۰۰۵). یکی از ویژگی‌های مهم فرسایش کرانه‌ی رود نسبت به دیگر شکل‌های فرسایش، دائمی و تداوم فعال بودن آن است، درحالی‌که انواع دیگر فرسایش فقط در زمان بارندگی و یا کمی پس از شروع آن فعال می‌شوند. تاکنون تحقیقات زیادی توسط محققان داخلی و خارجی در زمینه‌ی ناپایداری و فرسایش کرانه‌ی رودخانه و مدیریت حفاظت از کرانه‌ها انجام گرفته است از جمله: کوان و سوانسن[2] (۲۰۱۴) به پیش‌بینی فرسایش سالانه‌ی کرانه‌ی رودخانه با استفاده از شاخص خطر فرسایش کرانه‌ی (BEHI) و روش تنش برشی نزدیک کرانه‌ی (NBS) برای جنگل ملی سکوایا در کالیفرنیا پرداختند و در تحقیقی به منظور تجزیه و تحلیل و درک مکانیسم‌ها و نرخ فرسایش در جنگل‌های ملی سکویا برای مدیریت و تحلیل اثرات آتش‌سوزی و نقش این عامل در ایجاد فرسایش، روش‌های فوق را مورد استفاده قراردادند و نتایج به دست آمده از طریق روش‌های BEHI و NBS با فرسایش واقعی کرانه در سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۲ مقایسه شد. کوریت[3] (۲۰۱۴) به تحلیل و ارزیابی کانال با روش پیامدهای منبع غیرنقطه‌ای رسوب (BANCS) برای پیش‌بینی فرسایش و پایداری کرانه‌ی رودخانه در استونی کلوو کریک در کت اسکیلز پرداخته است. این مطالعه نشان داد که نتایج به دست آمده از طریق روش BANCS ممکن است منجر به بهبود مدیریت آینده‌ی حوضه‌ی استونی کلوو شود. حسین‌زاده، اسماعیلی و متولی (۱۳۸۴) نیز در مطالعه‌ی خود به بررسی کارایی سیستم طبقه‌بندی روزگن در طبقه‌بندی رودخانه‌های بابل و تالار در محدوده‌ی جلگه‌ی ساحلی دریای خزر پرداخته‌اند. رضایی مقدم و همکاران (۱۳۹۱) به تحلیل وضعیت پایداری مجرای رودخانه‌ی قزل‌اوزن با استفاده از روش‌های تنش برشی، شاخص مقاومت نسبی

1- Bernhardt et al.,
2- Kwan and Swanson
3- Coryat

بستر پرداخته و نتایج با مطالعات صحرایی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که روش‌های مذکور برای بازه‌های آبرفتی نتایج خوبی دارد و بازه‌ی اول، به عنوان بازه‌ی ناپایدار و بازه‌ی دوم و سوم، به عنوان بازه‌ی کمابیش پایدار معرفی کردند. از آنجا که بازه‌ی اول توسط زمین‌های کشاورزی احاطه شده هرگونه تغییر مورفولوژی رودخانه می‌تواند منجر به فرسایش شدید شود. روستایی و همکاران (۱۳۹۲) مورفولوژی مجرای رودخانه‌ی لیقوان را با استفاده از روش طبقه‌بندی راسگن در سطح دو مورد ارزیابی قراردادند. نتایج نشان داد که مقاطع مورد بررسی از نوع B، C و E بوده و اکثر مقاطع از نوع C بودند که نشان‌دهنده‌ی حساسیت بالای مقاطع بـه فرسایش بوده و در مواقع سیلابی، سیلاب دشت سیلابی را فرا می‌گیرد. اصغری سراسکانرود و زینالی (۱۳۹۲) به بررسی مقاومت ذرات رسوبی در برابر فرسایش رودخانه سراسکند چای هشترود پرداختند. نتایج نشان داد که رودخانه حالت پایداری دارد و میزان تغییرات رودخانه در آینده بسیار کم و به صورت مقطعی خواهد بود. خالقی و ملکانی (۱۳۹۴) در پژوهشی به برآورد فرسایش کرانه رودخانه‌ی لیقوانچای با استفاده از شاخص تنش برشی نزدیک کرانه راسگن پرداخته‌اند که نتایج نشان داد که در روش (R_c/W_{bkf})، میزان فرسایش‌پذیری کرانه در اکثر مقاطع به جز مقطع ۱۰، کم تا خیلی کم بوده و در روش (d_{nb}/d_{bkf}) در اکثر مقاطع فرسایش‌پذیری کرانه‌ها در حد کم تا متوسط است. اسماعیلی و حسین‌زاده (۱۳۹۴) در طبقه‌بندی رودخانه‌های حوضه‌ی آبریز لاویج در منطقه‌ی کوهستانی البرز شمالی از روش‌های روزگن و استیل رود استفاده نموده و مورد مقایسه قرار داده‌اند.

بدین منظور هدف این مطالعه، بررسی میزان خطر فرسایش کناره‌ای و شناسایی مناطق مستعد در برابر فرسایش کـناره‌ای در رودخانه‌ی قرانـقو چای هـشترود و ارائه‌ی راهکارهای مقتضی است. حوضه‌ی آبریز قرانقو چای در (بالادست سد سهند) در جنوب غربی شهرستان هشترود، درموقعیت ۲ °۳۷ تا ۴۳ °۳۷ عرض شمالی و

۲۸ °۴۶ تا ۵۸ °۴۶ طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). منطقه‌ی مورد مطالعه بخشی از حوضه‌ی آبریز قرانقو چای و بازه‌ای از رودخانه‌ی قرانقو بین دو روستای آتش‌بیگ تا گنج‌آبادعلیا به طول تقریبی ۹ کیلومتر است، که تعداد ۹ مقطع عرضی در این محدوده به فاصله‌ی ۱ کیلومتری از هم انتخاب و اقدام به اندازه‌گیری و جمع‌آوری پارامترهای مورد نیاز برای مدل BEHI شده است. رودخانه‌ی قرانقو در محدوده‌ی مورد مطالعه باتوجه به شیب‌های به دست آمده از مقاطع مختلف در مطالعات میدانی و با ملاحظه‌ی طبقه‌بندی رودخانه‌ها بر اساس شیب‌های مختلف در مدل راسگن در طبقه‌بندی اولیه و سطح ۱ راسگن از نوع B تا C این طبقه‌بندی قرار می‌گیرد که در مقاطع بالا الگوی روخانه از نوع B و در مقاطع پایین دست از نوع C است.

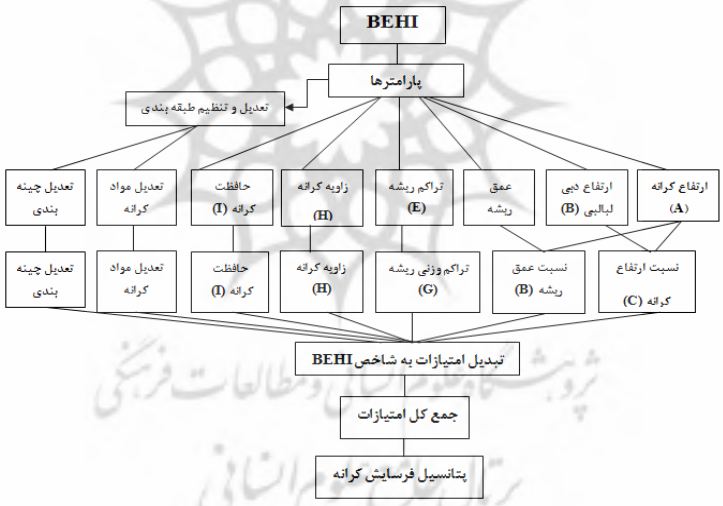


شکل (۱) حوضه‌ی قرانقو چای و منطقه‌ی مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

شاخص خطر فرسایش کناره (BEHI): شاخص خطر فرسایش کناره‌ی یک فرآیند یکپارچه است، آسیب‌پذیری و فرسایش کناره با استفاده از متغیر های شناخته شده

که نرخ فرسایش را تحت تأثیر قرار می‌دهند، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد (شکل ۲). در مدل BEHI چندین متغیر که به‌واسطه‌ی ارزیابی‌های بصری بررسی می‌شوند می‌توان نسبت و میزان فرسایش کناره‌ای را در مناطق مستعد فرسایش نشان داد. هفت متغیر جهت ارزیابی وجود دارد و فرآیند نمره‌دهی به این ۷ پارامتر قابل اندازه‌گیری بر مبنای ۱ تا ۱۰ است، عدد ۱ حساسیت کم و استعداد کم به فرسایش و عدد ۱۰ حساسیت و استعداد زیاد به فرسایش را نشان می‌دهد. این امتیازات جهت تعیین نمره کلی به هم اضافه شده و نمره کامل به دست می‌آید، بنابراین تمامی متغیرها از وزن یکسانی جهت امتیاز دهی برخوردار هستند که این نمره‌های عددی به یک میزان امتیازبندی توصیفی برای میزان حساسیت کناره‌ها به فرسایش مربوط می‌شوند.



شکل (۲) فلوچارت مراحل انجام مدل BEHI

۱- پارامترهای مورد نیاز مدل BEHI: در این مدل از داده‌های مرتبط با پارامترهای ۱- ارتفاع کرانه ۲- ارتفاع دبی لبالبی ۳- عمق ریشه ۴- تراکم ریشه ۵- زاویه‌ی کناره ۶- درصد محافظت کناره ۷- ترکیبات و ساختار مواد کناره استفاده

شده است (شکل ۲). متغیرها شامل نسبت ارتفاع کرانه، نسبت عمق ریشه، تراکم وزنی ریشه، زاویه کرانه و حفاظت سطحی است. متغیرها دارای مقادیر تجربی بوده و به مقادیر شاخص برگردانده شده و در نهایت جهت امتیازدهی کلی جمع بسته می‌شوند (جدول ۱). این امتیازات توسط مواد کرانه و مواد چینه‌بندی کرانه‌ی تعدیل می‌شوند. امتیازات BEHI به صورت پتانسیل فرسایش در جدول (۲) طبقه‌بندی می‌شوند. متغیرهای مورد نظر به طریق زیر محاسبه می‌شوند:

ارتفاع کرانه (A)، فاصله از پای کناره تا بالای کناره است و ارتفاع دبی لبالبی (B)، فاصله از پای کناره تا ارتفاع سطح دبی لبالبی است. ارتفاع کرانه بر ارتفاع دبی لبالبی تقسیم شده (A)/(B) و نسبت ارتفاع کرانه (C) به دست می‌آید. نسبت نزدیک به عدد ۱ کم ترین میزان خطر فرسایش برای کناره است.

عمق ریشه (D) از بالای کرانه تا پایین کرانه جایی که ریشه گیاه وجود دارد، اندازه‌گیری می‌شود. عمق ریشه به ارتفاع کرانه تقسیم شده (D)/(A) و نسبت عمق ریشه (B) به دست می‌آید.

تراکم وزنی ریشه (G) از طریق تخمین بصری توده‌ی ریشه در واحد حجم خاک (E)*(F) محاسبه می‌شود.

زاویه‌ی کرانه (H)، زاویه‌ی کرانه در طول سطح ارتفاع کرانه اندازه‌گیری می‌شود.

حفاظت سطحی (I) عبارت است از درصد پوشش کرانه توسط گیاه، نخاله‌های چوب، قلوه سنگ‌ها و مواد حاصل از ساخته‌های انسانی است. پوشش سطحی کرانه بدون پوشش صفر درصد است درحالی‌که کرانه با پوشش کامل گیاهی ۱۰۰ درصد است.

مواد سطحی ممکن است بر حساسیت کرانه به فرسایش تأثیرگذارند. اگر مواد کرانه متوسط یا از قلوه سنگ‌های بزرگ باشد، امتیاز ۱۰ دارد. امتیاز ۵ تا ۱۰ برای شن، ترکیبی از شن و قلوه سنگ‌های کوچک یا ترکیبی از شن و ماسه است. ماسه و ماسه مخلوط ۱۰ امتیاز اضافه می‌شود. هیچ تعدیلی برای رس و سیلت چسبنده وجود ندارد. کرانه‌ای با سنگ بستر یا قطعه سنگی همواره امتیاز خیلی کم دارند.

امتیازات ممکن است برای چینه‌بندی کرانه تعدیل گردند. ۵ تا ۱۰ عدد ممکن است به امتیاز کلی اضافه شود اگر کرانه دارای لایه‌بندی رسوبی یا چینه‌بندی باشد.

۲- به دست آوردن نمره یا عدد کل: در این مرحله با توجه به ساختار مدل BEHI و شاخص تعریف شده برای این مدل اعداد اندازه‌گیری شده و به دست آمده را در مدل جای گذاری کرده و با توجه به شش سطح که برای هر یک از پارامترها در این مدل شامل ارتفاع کناره، عمق ریشه، تراکم ریشه به درصد، زاویه‌ی کناره، محافظت سطحی و نوع مواد محافظ سطح کناره تعریف شده، اقدام به ارزش‌دهی به هر کدام از این فاکتورها می‌شود. در نهایت با جمع کردن اعداد به دست آمده از هر پارامتر اندازه‌گیری شده، اعداد با هم جمع شده و نمره نهایی به دست می‌آید که نشان‌دهنده‌ی شدت فرسایش کناره طبق مدل BEHI خواهد بود (جدول ۱ و ۲).

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

جدول (۱) خلاصه شاخص خطر فرسایش کرانه (BEHI)

نام رودخانه		تاریخ برداشت	بازه				امتیاز کل
طبقه‌بندی خطر فرسایش		ارتفاع کرانه/ ارتفاع دبی لبالبی	عمق ریشه/ ارتفاع کرانه	تراکم ریشه (٪)	زاویه کرانه (درجه)	حفاظت سطحی (٪)	
پتانسیل فرسایش کرانه رودخانه	خیلی کم	مقدار	۱-۱/۱	۰/۹-۱	۸۰-۱۰۰	۰-۲۰	۸۰-۱۰۰	
		شاخص	۱-۱/۹	۱-۱/۹	۱-۱/۹	۱-۱/۹	۱-۱/۹	۵-۹/۵
	کم	مقدار	۱/۱۱-۱/۱۹	۰/۸۹-۰/۵	۵۵-۷۹	۲۱-۶۰	۵۵-۷۹	
		شاخص	۲-۳/۹	۲-۳/۹	۲-۳/۹	۲-۳/۹	۲-۳/۹	۱۰-۱۹/۵
	متوسط	مقدار	۱/۲-۱/۵	۰/۳-۰/۴۹	۳۰-۵۴	۶۱-۸۰	۳۰-۵۴	
		شاخص	۴-۵/۹	۴-۵/۹	۴-۵/۹	۴-۵/۹	۴-۵/۹	۲۰-۲۹/۵
	زیاد	مقدار	۱/۶-۲	۰/۱۵-۰/۲۹	۱۵-۲۹	۸۱-۹۰	۱۵-۲۹	
		شاخص	۶-۷/۹	۶-۷/۹	۶-۷/۹	۶-۷/۹	۶-۷/۹	۳۰-۳۹/۵
	خیلی زیاد	مقدار	۲/۱-۲/۸	۰/۰۵-۰/۱۴	۵-۱۴	۹۱-۱۱۹	۱۰-۱۴	
		شاخص	۸-۹	۸-۹	۸-۹	۸-۹	۸-۹	۴۰-۴۵
	شدید	مقدار	۲/۸ >	۰/۰۵ >	۵ >	۱۱۹ >	۱۰ >	
		شاخص	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۴۶-۵۰

جدول (۲) طبقه‌بندی پتانسیل فرسایش کرانه

توصیف	مقادیر عددی
استعداد فرسایش خیلی کم	۵ – ۹/۵
استعداد فرسایش کم	۱۰ -۱۹/۵
استعداد فرسایش معتدل	۲۰ – ۲۹
استعداد فرسایش بالا	۳۰ – ۳۹
استعداد فرسایش خیلی بالا	۴۰ – ۴۵
استعداد فرسایش بیش از حد	۴۶ - ۷۰

بحث و نتایج

شاخص خطر فرسایش کناره (BEHI) توسط راسگن برای اندازه‌گیری نرخ فرسایش کناره‌ی رودخانه استفاده شده است. در این مطالعه جهت تشخیص حساسیت کناره‌ی رودخانه قرانقوچای نسبت به فرسایش از مدل شاخص خطر فرسایش کناره‌ی (BEHI) استفاده گردید. برای انجام این کار بازه‌ای از رودخانه‌ی مذکور انتخاب و ۹ مقطع از این بازه انتخاب گردید. جمع‌آوری داده‌ها و اندازه‌گیری‌های اولیه از هر دو کناره ۹ مقطع مشخص شده در رودخانه‌ی قرانقو و در بالادست سد سهند انجام شد، سپس مقادیر نسبت‌های تعریف شده در مدل، برای هر کدام از کناره‌های راست و چپ مقاطع محاسبه شده و با استفاده از راهنمای شاخص خطر فرسایش کناره (BEHI) امتیازات هر کدام از پارامترها تعیین و با جمع امتیازات پارامترها، میزان خطر فرسایش کناره و ناپایداری کناره‌ها تعیین شد. جدول (۳) متغیرهای اندازه‌گیری شده برای مقاطع مورد مطالعه در رودخانه‌ی قرانقو جهت استفاده در مدل (BEHI) را نشان می‌دهد.

جدول (۳) متغیرهای اندازه‌گیری شده برای مقاطع مورد مطالعه‌ی رودخانه‌ی قرانقو

مقاطع	ارتفاع کرانه (متر)		ارتفاع دبی لبالبی (متر)		عمق ریشه (متر)		تراکم ریشه (٪)		زاویه کرانه (درجه)		محافظت سطحی (٪)	
	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L
۱	۵۵	۷۶	۲۱	۵۶	۳۰	۳۰	۲۵	۲۵	۲۹	۱۱۱	۱۰	۱۵
۲	۹۰	۶۰	۶۸	۴۰	۳۰	۶۰	۱۰	۱۰	۴۶/۹	۱۵	۱۰	۰
۳	۸۰	۶۰	۵۰	۴۰	۳۰	۲۰	۱۰	۵	۲۹/۲	۲۰	۱۵	۱۵
۴	۵۰	۶۰	۴۰	۴۰	۵۰	۴۰	۳۰	۵۰	۱۶/۸	۶۲/۷	۲۰	۳۰
۵	۷۰	۸۰	۴۵	۴۱	۱۵	۶۵	۱۰	۴۰	۱۱۱/۸	۵۸/۶	۱۰	۵
۶	۱۱۵	۱۰۵	۸۰	۷۵	۹۰	۱۰۰	۶۰	۷۵	۶۴/۸	۶۵/۲	۶	۳۰
۷	۵۵	۷۰	۴۰	۳۵	۲۰	۴۰	۵	۱۵	۹	۶۲/۲	۵	۲۰
۸	۵۵	۷۰	۴۰	۳۵	۲۰	۴۰	۱۰	۱۰	۹۹	۶۴/۲	۵	۵
۹	۵۵	۵۰	۴۵	۴۰	۱۰	۱۰	۵	۱۰	۸/۳	۹۰	۱۰	۱۰

R= کرانه راست ، L= کرانه چپ

بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده از مقاطع مختلف، امتیازدهی به شاخص‌های مدل خطر فرسایش کرانه انجام گرفت که نتایج این امتیازدهی در جدول (۴) نشان داده شده است. یافته‌های این مدل با توجه به جدول (۵) نشان می‌دهد که فرسایش کناره‌ای در هر دو کناره مقاطع مختلف وجود دارد، به طوری که در کناره‌های سمت راست رودخانه‌ی قرانقو در بازه‌ی مورد مطالعه، میزان خطر فرسایش کناره در تمامی مقاطع به استثنای مقطع ۴ از خیلی زیاد تا متوسط است و فقط در مقطع ۴ میزان خطر فرسایش خیلی کم برآورد شده است در صورتی که در کناره‌های چپ رودخانه در مقاطع مختلف، نرخ‌های حساسیت به فرسایش خیلی کم تا شدید مشاهده شده است (شکل ۳). نتایج مدل شاخص خطر فرسایش کناره نشان می‌دهد که میزان خطر فرسایش کناره با توجه به پارامترهای تعیین شده در کناره راست رودخانه بیشتر از کناره چپ رودخانه‌ی قرانقو است. همچنین در طول بازه‌ی مورد مطالعه، در مقاطع میانی میزان خطر فرسایش در دو طرف رودخانه کاهش پیدا می‌کند ولی در مقاطع بالا و پایین بازه، حساسیت کناره‌ها به فرسایش بیشتر بوده است.

جدول (۴) امتیازدهی شاخص‌های خطر فرسایش کرانه (BEHI)

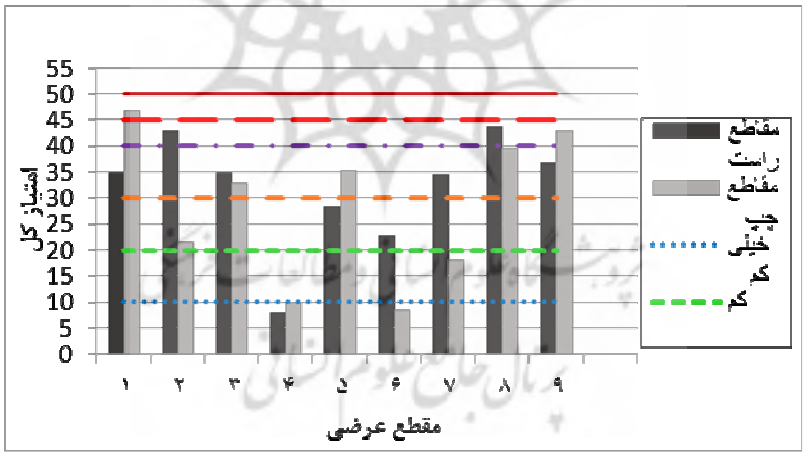
مقاطع		ارتفاع کرانه/ارتفاع دبی لبالبی	عمق ریشه/ارتفاع کرانه	تراکم ریشه (٪)	زاویه کرانه (درجه)	حفاظت سطحی (٪)	تعدیل مواد کنار و چینه‌بندی	امتیاز کل
۱ کرانه‌راست	مقدار	۲/۶۱	۰/۵۴	۱۳/۵	۲۹	۱۰	۵	۳۴/۸
	شاخص	۹	۳/۹	۹	۳/۹	۵		
۱ کرانه چپ	مقدار	۱/۳۵	۰/۳۹	۹/۷۵	۱۱۱	۱۵	۱۰	۴۶/۸
	شاخص	۵/۹	۵	۹	۹	۷/۹		
۲ کرانه‌راست	مقدار	۱/۳۲	۰/۳۳	۳/۳	۴۶/۹	۱۰	۱۰	۴۲/۸
	شاخص	۵/۹	۴	۱۰	۳/۹	۹		
	مقدار	۱/۵	۰/۳۳	۳/۳	۱۵	۰		
	شاخص	۵/۹	۴	۱۰	۱/۵	۱۰		

ادامه‌ی جدول (۴)

مقاطع		ارتفاع کرانه/ارتفاع دبی لبالبی	عمق ریشه/ارتفاع کرانه	تراکم ریشه (٪)	زاویه کرانه (درجه)	حفاظت سطحی (٪)	تعدیل مواد کنار و چینه‌بندی	امتیاز کل
۳	مقدار	۱/۶	۰/۳۷	۳/۷	۲۹/۲	۱۵	۵	۳۴/۷
کرانه‌راست	شاخص	۶	۵	۱۰	۲/۷	۶		
۳	مقدار	۱/۵	۰/۳۳	۱/۶۵	۲۰	۱۵	۵	۳۲/۸
کرانه چپ	شاخص	۵/۹	۴	۱۰	۱/۹	۶		
۴	مقدار	۱/۲۵	۱	۳۰	۱۶/۸	۲۰	-۱۰	۷/۸۴
کرانه‌راست	شاخص	۴	۱	۵/۹	۱/۵	۵/۴۴		
۴	مقدار	۱/۵	۰/۶۶	۳۳	۶۲/۷	۳۰	۱۰	۱۰
کرانه چپ	شاخص	۵/۹	۲/۸	۰/۴	۴	۵/۹		
۵	مقدار	۱/۵۵	۰/۲۱	۲/۱	۱۱۱/۸	۱۰	-۱۰	۲۸/۴
کرانه‌راست	شاخص	۵/۹	۵/۵	۱۰	۸	۹		
۵	مقدار	۱/۹۵	۰/۸۱	۳۲/۴	۵۸/۶	۵	۵	۳۵/۲۴
کرانه چپ	شاخص	۷/۹	۲/۵۴	۵/۹	۳/۹	۱۰		
۶	مقدار	۱/۴۳	۰/۷۸	۴۶/۸	۶۴/۸	۰/۶	۵	۲۲/۷۸
کرانه‌راست	شاخص	۵/۶۲	۱/۷۵	۳/۳۱	۴/۲	۲/۹		
۶	مقدار	۱/۴	۰/۹۵	۷۱/۲۵	۶۵/۲	۳۰	-۱۰	۸/۴۲
کرانه چپ	شاخص	۵/۶۲	۰/۹	۱/۸	۴/۲	۵/۹		
۷	مقدار	۱/۳۷	۰/۳۶	۱/۸	۰/۹	۰/۵	۵	۳۴/۵
کرانه‌راست	شاخص	۵/۳	۳/۲	۱۰	۱	۱۰		
۷	مقدار	۲	۰/۵۷	۸/۵۵	۶۲/۴	۲۰	-۱۰	۱۸/۱
کرانه چپ	شاخص	۷/۹	۱/۱۲	۸	۴	۷		
۸	مقدار	۱/۳۷	۰/۳۶	۳/۶	۹۹	۰/۵	۵	۴۳/۶
کرانه‌راست	شاخص	۴/۵۶	۵	۱۰	۸/۵	۱۰		
۸	مقدار	۲	۰/۵۷	۵/۷	۶۴/۲	۵	۵	۳۹/۵
کرانه چپ	شاخص	۷/۹	۳/۵	۹	۴/۲	۱۰		
۹	مقدار	۱/۲۲	۰/۱۸	۰/۹	۸/۳	۱۰	۵	۳۶/۸
کرانه‌راست	شاخص	۴	۷/۶	۱۰	۱/۲	۹		
۹	مقدار	۱/۲۵	۰/۲	۲	۹۰	۱۰	۵	۴۳
کرانه چپ	شاخص	۴	۷/۵	۱۰	۷/۹	۹		

جدول (۵) نتایج کلی رده‌بندی خطر فرسایش کرانه (BEHI)

مقطع عرضی	امتیاز BEHI	خطر فرسایش کناره راست	امتیاز BEHI	خطر فرسایش کناره چپ
۱	۳۴/۸	زیاد	۴۶/۸	شدید
۲	۴۲/۸	خیلی زیاد	۲۱/۴	متوسط
۳	۳۴/۷	زیاد	۳۲/۸	زیاد
۴	۷/۸۴	خیلی کم	۱۰	کم
۵	۲۸/۴	متوسط	۳۵/۲۴	زیاد
۶	۲۸/۷۸	متوسط	۸/۴۲	خیلی کم
۷	۳۴/۵	زیاد	۱۸/۱	کم
۸	۴۳/۰۶	خیلی زیاد	۳۹/۵	زیاد
۹	۳۶/۸	زیاد	۴۳	خیلی زیاد



شکل (۳) رده‌بندی خطر فرسایش کرانه (BEHI) در مقاطع مورد مطالعه

روش کار و نتایج ارائه شده در این مطالعه به منظور پیش‌بینی حساسیت فرسایش کناره‌ی رودخانه‌ی قرانقوچای بوده است. تفاوت این روش نسبت به

مطالعات قبلی، کمی‌سازی و تعدد متغیرهای مورداستفاده در برآورد حساسیت کناره رودخانه بوده است. یافته‌های موجود در این رودخانه با نتایج یافته‌های مطالعات دیگر ازجمله رضایی‌مقدم و همکاران (۱۳۹۱)، روستایی و همکاران (۱۳۹۲) و خالقی و ملکانی (۱۳۹۳) که در سطح منطقه به ویژه آذربایجان شرقی صورت گرفته است، نشان می‌دهد که کناره‌های رودخانه‌ها در این نواحی دارای حساسیت بالا نسبت به فرسایش هستند. با توجه به شکل (۳) و جدول (۵) مشخص شده است که حساسیت مقاطع و کناره‌های چپ و راست در مقابل فرسایش یکسان نیست. به گونه‌ای که مقاطع بالادست و پایین دست حساسیت بیشتری نسبت به فرسایش دارا بوده‌اند. برای تشخیص دلیل این موضوع، متغیرهای مورد مطالعه در مقاطع مختلف مورد بررسی قرار گرفت. بررسی‌ها نشان داد که در مقاطع میانی تراکم ریشه‌ها و عمق ریشه‌ها بیشتر از نواحی دیگر بوده است حتی در مقاطعی که کناره‌ی راست و چپ دارای تفاوت حساسیت بوده‌اند این تفاوت ناشی از تفاوت پوشش گیاهی و تأثیر آن یعنی تراکم و عمق ریشه‌ها بوده است. در واقع پوشش گیاهی هر سه فرآیند فرسایشی کناره (فرسایش هیدرولیک رودخانه، حرکات توده‌ای و تنش برشی مکانیکی و هیدرولیکی مواد کناره) که توسط لاولر[1] (۱۹۹۵) بیان شده را تحت تأثیر قرار می‌دهد (وین و مستقیمی[2]، ۲۰۰۶). وین و مستقیمی (۲۰۰۶) مشخص کرده‌اند که تراکم ریشه تأثیر قابل توجهی بر روی فرسایش کناره در جنوب غربی ویرجینیای آمریکا دارد. مطالعات قبلی نشان می‌دهد، پوشش گیاهی درختی نرخ فرسایش را از طریق اتلاف انرژی ستون آب کاهش می‌دهد. این فرآیند از طریق افزایش زبری و مقاومت کششی ناشی از افزایش چسبندگی فراهم شده به وسیله ترکیب ریشه و خاک صورت می‌گیرد

1- Lawler
2- Wynn and Mostaghimi

(شوم[1]، ۱۹۷۳؛ تورن[2]، ۱۹۹۰؛ گورنیل[3]، ۱۹۹۷؛ گنت و همکاران[4]، ۲۰۰۵ و پولین[5]، ۲۰۰۷). علاوه بر این نتایج نشان می‌دهد که تفاوت گونه‌های مختلف گیاهی نیز مقادیر متنوعی از مقاومت کششی را نسبت به خاک فراهم می‌کند (گنت و همکاران، ۲۰۰۵ و پولین، ۲۰۰۷). حساسیت فرسایش محاسبه شده در مقاطع مختلف قرانقوچای نشان می‌دهد که فرسایش بیشتر در بخش‌هایی رخ می‌دهد که پوشش گیاهی وجود ندارد یعنی جایی که پوشش گیاهی کم است، حساسیت به فرسایش نیز کمتر است. در این مدل متغیرهای نسبت عمق و تراکم ریشه‌ها، با هم در ارتباط هستند و در صورتی که با یکدیگر ترکیب شوند می توانند امتیاز پایینی را در مدل برای مقطع مورد مطالعه ایجاد کنند. به عنوان مثال در مقطع ۹، به دلیل ضعف پوشش گیاهی، نسبت عمق به ارتفاع عدد ۰/۲ و تراکم ریشه ۲ درصد بوده که منجر به کسب امتیاز بالا برای این مقطع و حساسیت بالای کناره نسبت به فرسایش شده است. یک متغیر دیگر مورد بررسی در این مدل که می‌تواند در تفاوت حساسیت کناره‌ها دخالت داشته باشد ویژگی‌های مواد تشکیل‌دهنده‌ی کناره (خاک) باشد. این ویژگی به عنوان یک متغیر تعدیل و تنظیم‌کننده‌ی مواد کناره شناخته می‌شود. در واقع مواد کناره‌ای مختلف، حساسیت‌های متفاوتی را در مقابل فرسایش ایجاد می‌کنند. به عنوان مثال کناره‌های رسی به علت چسبندگی نسبت به کناره‌های ماسه‌ای و شنی به آهستگی و در زمان طولانی فرسایش پیدا می‌کنند. وین و مستقیمی (۲۰۰۶) دریافته‌اند که وزن مخصوص ظاهری خاک یک فاکتور خیلی مهم مؤثر بر فرسایش کناره است؛ در واقع خاک با وزن مخصوص ظاهری بالاتر منجر به کاهش فرسایش‌پذیری خاک می‌شود (شوم، ۱۹۷۳). خاک غنی از

1- Schumm
2- Thorne
3- Gurnell
4- Genet et al.
5- Pollen

رس، معمولاً وزن مخصوص ظاهری بالاتری دارد که در منطقه‌ی قرانقوچای در چند مقطع مشاهده شده است. رس تمایل به چسبندگی بیشتر با یکدیگر داشته و آستانه‌ی شکست آن خیلی بالاتر است. به عنوان مثال در مقطع ۲ در کناره‌ی راست و چپ، مقاطع ۴ و ۵ در کناره‌ی راست و مقاطع ۶ و ۷ در کناره چپ با وجود عدم پوشش گیاهی تقریباً مناسب یا مشابه مقاطع یا کناره دیگر بوده است ولی حساسیت کمتری نسبت به فرسایش داشته است که این وضعیت ناشی از مواد تشکیل‌دهنده‌ی کناره بوده که به طور عمده ریزدانه در حد رس بوده است و در مقابل در مقطع ۱ در کناره‌ی راست و چپ، مقطع ۲ در کناره‌ی راست، مقطع ۴ در کناره‌ی چپ و مقاطع ۷ و ۸ در کناره راست و چپ بالا بودن حساسیت کناره به فرسایش مشاهده می‌شود که یکی از عوامل مؤثر نوع مواد تشکیل‌دهنده‌ی کناره و لایه‌بندی آن بوده است. در این مقاطع مواد کناره به طور عمده از ماسه، شن و قلوه سنگ تشکیل شده است.

نتیجه‌گیری

با توجه به داده‌ها و اطلاعات جمع‌آوری شده و نمونه‌گیری‌های انجام‌گرفته، مشخص شد فرسایش کناره‌ای از پدیده‌های غالب و فعال در بازه‌های مورد مطالعه‌ی رودخانه‌ی قرانقوچای محسوب می‌شود، که در مقاطع مختلف آثار و پیامدهای گوناگونی چون تغییر الگوی رودخانه، گسترش شعاع انحنا در قوس‌های رودخانه و گسترش عرض رودخانه در مسیرهای مستقیم داشته است (حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵)، که به تبع این پدیده‌ها در ایجاد خسارات به زمین‌ها و تأسیسات اطراف رودخانه شده و موجب ایجاد تغییرات متعدد در الگوی رودخانه، تولید رسوب و انتقال آن به مخزن سد سهند می‌باشند، که در جهت جلوگیری از تحمیل خسارات و اثرات سوء بر منطقه نیازمند شناخت کلی از رفتار و جریان رودخانه وجود دارد که در نهایت با شناسایی مناطق مستعد برای این نوع از فرسایش و انجام تمهیدات

و اقدامات کنترلی در سطح این منطقه می‌توان آثار و پیامدهای این پدیده را کاهش داده و یا به حداقل رساند.

این مطالعه نشان داد که پوشش گیاهی و مواد کناره نقش اساس در حفظ پایداری کناره در این منطقه دارند. ارزیابی فرسایش کناره با استفاده از مدل خطر فرسایش کرانه (BEHI) نشان می‌دهد که بر روی حساسیت فرسایش کناره‌ی رودخانه در منطقه‌ی قرانقوچای بیش از یک عامل کنترلی نقش دارد. در مدل BEHI، با توجه به پارامترهای اندازه‌گیری شده، علت بالا بودن ضریب خطر فرسایش در کناره سمت راست، پایین بودن میزان تراکم ریشه در کناره سمت راست و جنس سست مواد کناره نسبت به کناره چپ می‌توان دانست. همچنین میزان و خطر فرسایش کناره‌ای در اواسط بازه‌ی مورد مطالعه کاهش پیدا می‌کند. که علت این أمر در مدل BEHI با توجه به پارامترهای مورد بررسی، بالا بودن عمق ریشه نسبت به ارتفاع کناره و بالا بودن تراکم ریشه در مقاطع میانی است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

- اسماعیلی، رضا و محمدمهدی حسین‌زاده (۱۳۹۴)، **مقایسه‌ی روش‌های روزگن و استیل رود در طبقه‌بندی رودخانه‌های کوهستانی، مطالعه‌ی موردی البرز شمالی، حوضه‌ی آبریز لاویج**، پژوهش‌های دانش زمین، شماره‌ی ۲۱، صص ۷۹-۶۴.

- اصغری سراسکانرود، صیاد، زینالی، بتول، (۱۳۹۲)، **بررسی مقاومت ذرات رسوبی در برابر فرسایش رودخانه‌ی سراسکندچای هشترود با استفاده از روش‌های ریاضی**، پژوهش‌های فرسایش محیطی، شماره‌ی ۱۲، صص ۴۲-۳۰.

- حسین زاده، محمد مهدی، اسماعیلی، رضا، متولی، صدرالدین، (۱۳۸۴)، **بررسی کارایی سیستم طبقه بندی روزگن (مطالعه موردی: طبقه بندی رودخانه‌های بابل و تالار در محدوده‌ی جلگه ساحلی دریای خزر)**، فصلنامه‌ی جغرافیایی سرزمین، شماره‌ی ۵، صص ۶۴-۵۱.

- حسین‌زاده، محمدمهدی؛ خالقی، سمیه؛ واحدی‌فر، فراز و میلاد رستمی (۱۳۹۵)، **برآورد فرسایش کناره‌ای در رودخانه‌ی قرانقوچای هشترود با استفاده از مدل راسگن**، چهارمین همایش ملی انجمن ایرانی ژئومورفولوژی، آبان ۱۳۹۵، تهران.

- خالقی، سمیه و لیلا ملکانی (۱۳۹۴)، **برآورد فرسایش کرانه رودخانه‌ی لیقوان چای با استفاده از شاخص تنش برشی نزدیک کرانه‌ی راسگن**، کنگره بین‌المللی جغرافیا و توسعه پایدار، تهران.

- روستایی، شهرام؛ خورشیددوست، علی‌محمد و سمیه خالقی (۱۳۹۲)، ارزیابی مورفولوژی مجرای رودخانه لیقوان با روش طبقه‌بندی راسگن، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره‌ی ۴، صص۱۶-۱.

- رضایی مقدم، محمدحسین؛ ثروتی، محمدرضا و صیاد اصغری سراسکانرود (۱۳۹۱)، **وضعیت پایداری مجرای رودخانه‌ی قزل اوزن با استفاده از روش‌های تنش برشی،**

شاخص مقاومت نسبی بستر و مطالعات صحرایی، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره‌ی ۱، صص ۴۶-۳۳.

- فاطمی عقدا، محمود؛ فیاضی، فرجاله و داریوش علیپور (۱۳۸۰)، **بررسی زمین‌شناسی مهندسی بخشی از رودخانه‌ی کرخه (روستای عبدالخان تا روستای الهایی)**، نشریه علوم دانشگاه تربیت معلم، جلد ۱، شماره‌ی ۶ و۳، صص ۱۶۳-۱۷۹.

-Bernhardt, E.S., Palmer, M.A., Allan, J.D., Alexander, G., Barnas, K., Brooks, S., Carr, J., Clayton, S., Dahm, C., Follstad-Shah, J., Galat, D., Gloss, S., Oodwin, P., Hart, D., Hassett, B., Jenkinson, R., Katz, S., Kondolf, G. M., Lake, P. S., Lave, R., Meyer, J. L., O'Donnell, T. K., Pagano, L., Powell, B. and Sudduth, E., (2005), **Synthesizing U.S. River Restoration Efforts**, Science, 308, PP. 636–637.

- Coryat., M., (2014), **Analysis of the Bank Assessment for Non-point Source Consequences of Sediment (BANCS) Approach for the Prediction of Streambank Stability and Erosion along Stony Clove Creek in the Catskills**, Master Theses, Syracuse University.

- Genet, M., Stokes, A., Salin, F., Mickovski, S. B., Fourcaud, T., Dumail, J-F., et al., (2005), **The Influence of Cellulose Content on Tensile Strength in Tree Roots**, Plant and Soil, 278, PP. 1-9.

- Gurnell, A., (1997), **The Hydrological and Geomorphological Significance of Forested Floodplains**, Global Ecology and Biogeography Letters, 6, PP. 219-229.

- Kang, R.S., (2007), **Effects of Urbanization on Channel Morphology of Three Streams in the Central Redbed Plains of Oklahoma,** Proquest, Ph.D Thesis, Faculty of the Graduate College, Oklahoma State University.

- Kwan, H., Swanson, S., (2014), **Prediction of Annual Streambank Erosion for Sequoia National Forest, California**, JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 50(6), PP. 1439-1447.

- Lawler, D.M., (1995), **The Impact of Scale on the Processes of Channel-Side Sediment Supply**: A Conceptual Model, Effects of Scale on Interpretation and Management of Sediment and Water Quality, 226, PP. 175-184.

-Pollen, N., (2007), **Temporal and Spatial Variability in Root Reinforcement of Streambanks: Accounting for Soil Shear Strength and Moisture**, Catena, 69, PP.197-205.

- Rosgen, D.L., (2001), **A Strem Channel Stability Assessment Methodology**, Proceedings of the Seventh Federal Interagency Sedimentation Conference.

- Rosgen, D.L., (2006), **Watershed Assessment of River Stability and Sediment Supply (WARSSS)**, Wildland Hydrology, Fort Collins, Colorado.

- Schumm, S.A., (1973), **Geomorphic Thresholds and Complex Response of Drainage Systems**, Fluvial Geomorphology, In: M. Morisawa (Editor), Binghamton, New York.

-Thorne, C.R., (1990), **Effects of Vegetation on Riverbank Erosion and Stability, Vegetation and Erosion: Processes and Environments**, Thornes, J.B. (Editor), John Wiley & Sons Ltd. West Sussex.

-Wilson, C.G., Kuhnle, R.A., Bosch, D.D., Steiner, J.L., Starks, P.J., Tomer, M.D. and Wilson, G.V., (2008), Quantifiycing Relative Contributions Formsediment sources in Conservation Effects Assessment Project Satersheds, Journal of Soil and Water Conservation, 63, PP. 523-531.

-Wynn, T.M. and Mostaghimi, S., (2006), The Effects of Vegetation and Soil Type on Streambank Erosion, Southwestern Virginia, USA, Journal of the American Water Resources Association, 42 (1), PP. 69-82.